

Naslov doktorskog rada:

Model for determination of a power transmission system frequency response

(HR: Model za određivanje frekvencijskoga odziva prijenosne elektroenergetske mreže)

Mjesto i datum obrane:

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 28.09.2018.

Sažetak:

Doktorski rad istražuje pojavu rezonancije i rezonantnih prenapona sa potencijalnim štetnim učinkom na opremu elektroenergetskog sustava (EES-a). Rezonancija može nastati kada na neki sustav djeluje periodično titranje s frekvencijom koja je slična ili jednaka prirodnoj frekvenciji promatranog sustava. Frekvencijski odziv i rezonantne frekvencije se mogu odrediti proračunima u frekvencijskoj domeni u različitim programskim alatima.

Rad je podijeljen na sedam poglavlja. U prvom poglavlju je dan općeniti opis predmetne tematike, te motivacija i ciljevi istraživanja. U drugom poglavlju su opisana dosadašnja istraživanja i dan je pregled literature o problematici vezanoj uz nastanak rezonancije u elektroenergetskom sustavu.

Treće poglavlje sadrži pojašnjenja osnovnih pojava vezanih uz rezonanciju na primjeru jednostavnih RLC krugova. Opisane su dvije vrste rezonancija: serijska i paralelna. Jedna od čestih pojava prilikom rezonancije jest nastanak rezonantnih prenapona, koji su klasificirani kao privremeni, pri čemu može doći do potencijalnog štetnog učinka na opremu EES-a i prijenosnu mrežu u cjelini. Nadalje, opisane su komponente EES-a koje su specifične za predmetne pojave i koje povećavaju mogućnost pojave rezonancije. Prvenstveno to su kabeli, dugi dalekovodi, kondenzatorske baterije itd.

U četvrtom poglavlju prikazan je korišteni dijagram toka za razvoj modela prijenosne mreže za potrebe proračuna u frekvencijskoj domeni. Rezultati tokova snaga dobiveni EMTP-RV modelom za proračune u stacionarnom stanju su uspoređeni s rezultatima istog modela razvijenim u programu PSS/E, koji je primarno fokusiran na proračune u stacionarnom stanju (npr. tokovi snaga, kratki spojevi itd.).

U petom poglavlju EMTP-RV model prijenosne mreže je proširen na susjedne EES-e, te je prikazana mogućnost ekvivalentiranja susjednih EES-a i nižih naponskih razina. Razvijeni model je prilagođen za proračune u frekvencijskoj domeni, pri čemu su ispitani i provjereni različiti modeli komponenata EES-a u frekvencijskom rasponu od 0 do 2500 Hz. Pritom su nadzemni vodovi modelirani sa frekvencijski ovisnim parametrima. Predložena je procedura za određivanje frekvencijski ovisnog ekvivalenta u određenom čvorištu. Nakon kreiranja frekvencijski ovisne matrice admitancije, slijedi postupak opisa pomoću matematičke metode racionalne aproksimacije, korištenjem Vector Fitting algoritma u alatu na bazi Matlaba. Nakon što su zadovoljeni uvjeti stabilnosti i pasivnosti, s dobivenim ekvivalentom prikazanim u bloku prostora stanja moguće je izvoditi proračune u vremenskoj i frekvencijskoj domeni. Razvijeni ekvivalent je validiran na primjeru proračuna u vremenskoj i frekvencijskoj domeni. Frekvencijsko ovisni ekvivalent u određenom čvorištu mreže operateri prijenosnih sustava mogu dati na korištenje trećim stranama, bez otkrivanja osjetljivih podataka prijenosne mreže.

U šestom poglavlju je provedena analiza na razvijenom trofaznom EMTP-RV modelu za proračune u frekvencijskoj domeni. U prvom dijelu tog poglavlja analiziran je slučaj priključenja

udaljene elektrane s dugim visokonaponskim kabelom (primjerice vjetro elektrane), koji prikazuje utjecaj kabela na frekvencijski odziv i rezonantne frekvencije. Razmatrani su različiti scenariji priključenja s obzirom na duljinu kabela. Predložen je postupak za određivanje osjetljivih područja prijenosne mreže na promjenu topologije, s obzirom na frekvencijski odziv. Također je predložen postupak za utvrđivanje najutjecajnijih parametara prijenosne mreže na frekvencijski odziv, analizom osjetljivosti na pojednostavljenom modelu koji sadrži tri najčešće komponente u modeliranju EES-a, a to su nadzemni vod, transformator i generator. Analiza osjetljivosti provedena je koristeći EMTP-RV modul za parametarske analize PAMSUITE u dva koraka: grafički i koristeći Morrisovu (tzv. „screening“) metodu.

U sedmom poglavlju iznesena su zaključna razmatranja te su opisani moguća buduća istraživanja na području modeliranja prijenosnih mreža za potrebe izvođenja različitih proračuna, a prvenstveno u frekvencijskoj domeni.

Ključne riječi: EMTP-RV, prijenosna elektroenergetska mreža, rezonancija, rezonantne frekvencije, frekvencijski odziv, frekvencijski ovisan ekvivalent mreže, kabeli, PSS/E, osjetljiva područja mreže, analiza osjetljivosti, Morrisova metoda.